

DE STAAT VAN HET KLIMAATONDERZOEK 2008

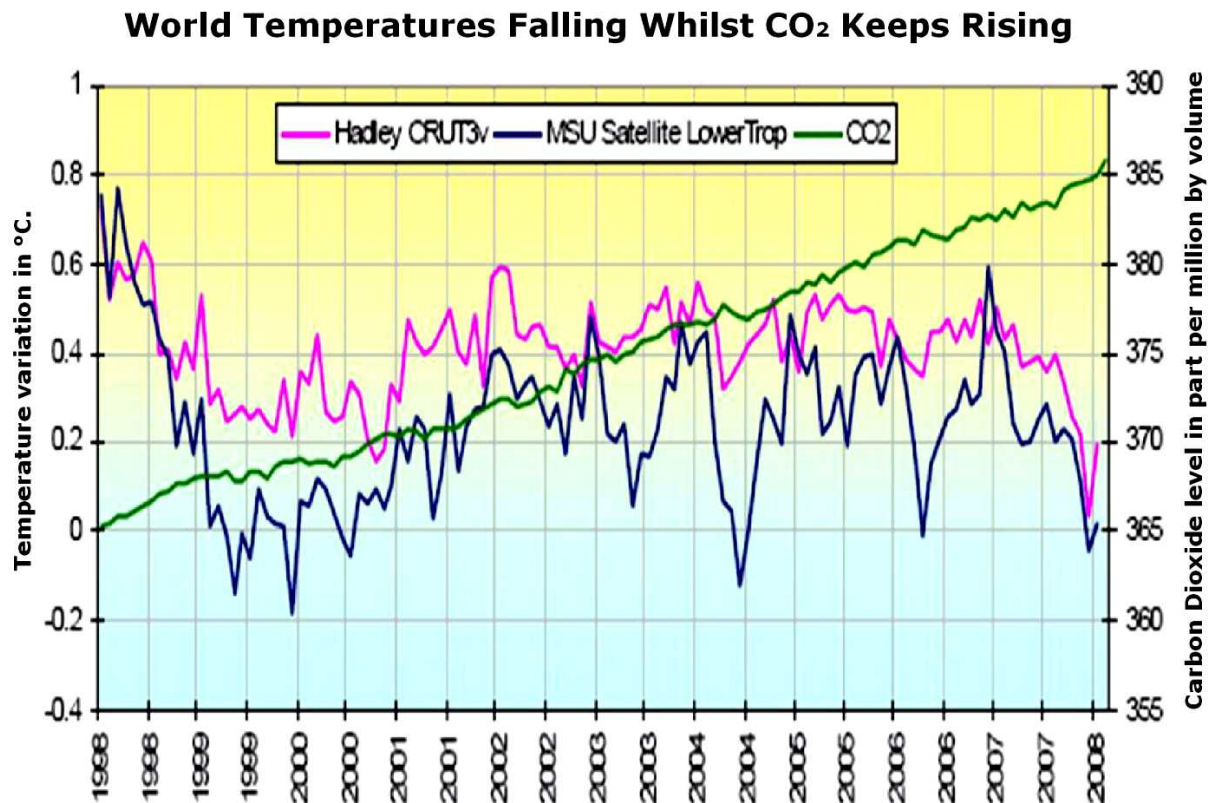
Brochure/Discussiestuk

Arthur Rörsch, Dick Thoenes, Hans Labohm

16 augustus 2008

WOORD VOORAF

Gedurende de laatste 10 jaar warmt de aarde niet meer op - dit in tegenstelling tot de klimaatprojecties van het gezaghebbende VN-orgaan: het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). De belangrijkste oorzaak is dat deze projecties zijn gebaseerd op computermodellen, waarin een prominente plaats is gegeven aan de hypothese dat de waargenomen stijging van de CO₂-concentratie in de atmosfeer het aardse broeikas effect substantieel zou kunnen beïnvloeden. Nu opwarming uitblijft, rijst in het bijzonder twijfel aan het feit of in deze modellen de onderscheidene natuurlijke en wisselvallige factoren die het klimaat beïnvloeden, op de juiste waarde zijn geschat.



Gedurende de laatste jaren is ook in het wetenschappelijk onderzoek op generlei wijze een bevestiging gevonden voor de door het IPCC verkondigde AGW-hypothese. (AGW staat voor 'anthropogenic global warming': de door de menselijke activiteit veroorzaakte temperatuurstijging, die zou ontstaan door de intensivering van het gebruik van fossiele brandstof, waarbij CO₂ vrijkomt.) Een enkel onderzoek, aan

de hand van waarnemingen, wijst er zelfs op dat de AGW-hypothese niet langer houdbaar is en dus dient te worden verworpen.

Uit de recente wetenschappelijke literatuur blijkt dat het uitblijven van een wereldwijde temperatuurstijging aanleiding is om het onderzoek naar de natuurlijke factoren die het klimaat beïnvloeden te intensiveren. Niettemin blijven de IPCC-vertegenwoordigers en de Nederlandse klimaatvoorlichting, o.a. van de zijde van het KNMI, nog steeds vasthouden aan de AGW-hypothese, zoals bijvoorbeeld kan worden nagelezen op de KNMI-website, in het bijzonder in de antwoorden op 'Veel gestelde vragen over klimaatverandering' (FAQ). Dit was voor de auteurs aanleiding om deze antwoorden aan een kritische beschouwing te onderwerpen en om vanuit een breder perspectief dan de AGW-hypothese, alternatieve antwoorden op deze vragen te formuleren. De hierbij gegeven alternatieve visie is het hoofdbestanddeel van deze brochure c.q. discussiestuk.¹

In hoofdstuk 2 wordt allereerst de klassieke visie op natuurlijke klimaatverandering uiteengezet, die in de KNMI-voorlichting node ontbreekt. Aan het eind van dit hoofdstuk worden de heersende controverses in de wetenschappelijke wereld over het onderwerp kort uiteengezet.

In hoofdstuk 3 wordt geconstateerd dat de gemiddelde wereldtemperatuur zich in het laatste decennium heeft gestabiliseerd, ja zelfs nog iets is gedaald (terwijl de CO₂-concentratie bleef stijgen). In hoofdstuk 4 wordt dit nader toegelicht aan de hand van de satellietmetingen, die wijzen op een opmerkelijke temperatuurstijging in de periode 1980 – 2000, maar niet daarna.

In hoofdstuk 5 wordt de in het voorlaatste IPCC-rapport prominent gepresenteerde temperatuurreconstructie van de laatste duizend jaar belicht. Het betreft hier de zogenoemde 'hockeystick', die geen warme Middeleeuwen laat zien. De 'hockeystick' wordt thans algemeen als een geval van wetenschappelijke fraude beschouwd.

In hoofdstuk 6 wordt aangegeven hoe de toegenomen lokale industriële activiteit wel degelijk de lokale temperatuurstijging heeft kunnen beïnvloeden, zonder dat daarbij sprake is van een verhoogd broeikaseffect.

In hoofdstuk 7 wordt de veronderstelde samenhang van verhoogde CO₂-concentratie in de atmosfeer en de wereldwijde geconstateerde temperatuur besproken, waarbij de oorzaak-gevolg relatie aan de orde wordt gesteld.

In hoofdstuk 8 wordt betoogd dat het water op de waterplaneet aarde, de belangrijkste oorzaak van het natuurlijke broeikaseffect is en dat bijdrage van andere stoffen daaraan op zijn minst twijfelachtig is.

¹ Deze visie is op literatuuronderzoek gebaseerd, mede aan de hand van twee rapporten.

- Het ISPM (Independent Summary for Policymakers) afkomstig van het Fraser Institute, http://www.fraserinstitute.org/Commerce.web/product_files/Independent%20Summary5.pdf en
- Het rapport van het NIPCC (Non-Governmental International Panel on Climate Change), getiteld: 'Nature, Not Human Activity, Rules the Climate.' 2008, uitgave van het 'Heartland Institute':

<http://www.sepp.org/publications/NIPCC-Feb%202020.pdf>

In deze rapporten vindt men het merendeel van de literatuurreferenties waarvan gebruik is gemaakt.

In hoofdstuk 9 wordt ingegaan op de astronomische invloeden (met name van de zon) op het aardse klimaat. Deze zijn op een geologische tijdschaal evident, maar nog verre van zeker is of deze ook in de vorige eeuw een overwegende invloed hebben uitgeoefend. Men mag die mogelijke invloed echter niet bagatelliseren, zoals het IPCC doet.

In hoofdstuk 10 wordt aandacht geschonken aan de gevolgen van klimaatverandering. Daarin wordt betoogd dat de waarnemingen van opmerkelijke verschijnselen (zoals o.a. zeespiegelstijging en het afsmelten van gletsjers) niet zondermeer aan CO₂-stijging kunnen worden toegeschreven. Het leggen van zo'n verband is, gezien natuurlijk optredende veranderingen, op zijn minst voorbarig.

Hoofdstuk 11 bevat een kritische beschouwing gegeven van het gebruik van (computer-) klimaatmodellen om toekomstvoorspellingen te doen.

In hoofdstuk 12 tenslotte worden de grondslagen van de AGW-hypothese besproken, die inmiddels ondergraven lijken te zijn en worden er indicaties gegeven hoe de algemene broeikastheorie aan herziening toe is.

In deze brochure is niet direct kritiek op de KNMI-presentatie van antwoorden op 'veel gestelde vragen' geleverd. De analyse is zelfstandig leesbaar gemaakt door vanuit het bredere perspectief dan de AGW-hypothese de huidige klimaatproblematiek te bespreken, los van de KNMI-stellingnamen. De tegenstellingen tussen de verschillende opvattingen dienen naar onze mening onderwerp van verdere discussie te zijn.

1. TOELICHTING OP DEZE LITERATUURRAPPORTAGE

1.1. De aanleiding

Op de KNMI-website, www.knmi/faq/klimaat, vindt men een zestiental vragen over klimaatverandering met de door het KNMI daarop gegeven antwoorden. Deze website bevat veel waardevolle informatie. De antwoorden zijn grotendeels gebaseerd op de rapporten van het officiële en gezaghebbende VN-orgaan: 'Intergovernmental Panel on Climate Change' (IPCC).

Het IPCC is een politiek-wetenschappelijk orgaan, dat aanbevelingen doet aan regeringen over het klimaatbeleid. Het werk van het IPCC mondt uit in een 'Summary for Policymakers'. Deze is gebaseerd op samenvattingen van lijvige wetenschappelijke rapporten van een drietal werkgroepen, waaraan gerenommeerde klimaatonderzoekers deelnemen. In deze rapporten staat de menselijke broeikashypothese centraal. Dat wil zeggen: het IPCC is van mening dat de opwarming van de aarde die sinds de helft van de vorige eeuw heeft plaatsgevonden, met een aan zekerheid grenzende waarschijnlijkheid voor meer dan 50% moet worden toegeschreven aan menselijke activiteit, in het bijzonder het verstoken van fossiele brandstoffen, dat tot een verhoging van de concentratie van het broeikasgas CO₂ in de atmosfeer heeft geleid.

Buiten de kring van de IPCC heerst echter al geruime tijd twijfel over de juistheid van de menselijke broeikashypothese. Thans zijn twee belangrijke andere overzichtsrapporten beschikbaar die over de vermeende dreiging van een klimaatcatastrofe een veel genuanceerder beeld geven dan de IPCC-rapporten, te weten:

- De ISPM, 'Independent Summary for Policymakers, IPCC Fourth Assessment Report', Londen 5 februari 2007, uitgave van het 'Fraser Institute': http://www.fraserinstitute.org/Commerce.web/product_files/Independent%20Summary5.pdf
- Het rapport van het NIPCC (Non-Governmental International Panel on Climate Change), getiteld: 'Nature, Not Human Activity, Rules the Climate.' 2008, uitgave van het 'Heartland Institute': <http://www.sepp.org/publications/NIPCC-Feb%2020.pdf>

Wij achten het van belang dat ook rekening wordt gehouden met de inzichten die in deze rapporten zijn ontwikkeld en dat de vragen die rijzen ten aanzien van klimaatverandering, niet uitsluitend vanuit IPCC-standpunt worden belicht. Op basis van bovengenoemde rapporten (ISPM en NIPCC) en de daarin aangehaalde wetenschappelijke literatuur, worden hierna alternatieve antwoorden op de vragen ter discussie gesteld.

1.2. De KNMI-website

Het hoofdblok 'Klimaat' op de website van het KNMI bestaat uit de onderdelen

- Verleden weer (feitelijke informatie).
- Klimaatverandering.
- Klimaatscenario's.
- Klimaat in het nieuws.

- Veel gestelde vragen.

In het blok 'Klimaatverandering' worden de volgende vragen behandeld:

1. Waar gaat het om?
2. Wat is klimaat?
3. Hoe komen we aan klimaatinformatie?
4. Wat weten we over klimaatverandering in het verleden?
5. Hoe werkt het klimaat?
6. Hoe ontstaan klimaatveranderingen?
7. Is de opwarming toe te schrijven aan menselijke invloed?
8. Wat zijn de klimaatvoorspellingen voor de volgende eeuw(en)?
9. Hoe betrouwbaar zijn de voorspellingen?
10. Is het erg?
11. Hoe kunnen we de menselijke invloed beperken?

In het antwoord op de eerste vraag wordt reeds de trend gezet voor de antwoorden op de daarop volgende vragen. Het gaat vooral om de temperatuurstijging als gevolg van de toename van de CO₂-concentratie in de atmosfeer, die zou worden veroorzaakt door het verbruik van fossiele brandstof door de mens – de zogenoemde AGW ('Anthropogenic Global Warming'). Onder vraag 2 wordt slechts summier het begrip 'klimaat' behandeld en het antwoord op vraag 5 beperkt zich hoofdzakelijk tot het wereldklimaat. Het merendeel van de antwoorden op de overige vragen bevat niet-temin waardevolle informatie.

1.3. Kritischer vragen

Opmerkelijk is dat het tijdschrift NatuurWetenschap&Techniek onlangs vragen onder de aandacht heeft gebracht (NW&T 2008,4) van een meer kritische strekking:

1. Waarom warmt de aarde niet op?
2. Warmen de oceanen op?
3. Waarom koelt Antarctica af?
4. Overschatten we de opwarming?
5. Waarom zien de satellieten zo weinig opwarming?
6. Smelt het zeeijs echt wel zo hard?
7. Stijgt de zeespiegel nu sneller of niet?
8. Smelt het landijs nu wel of niet?
9. Waar blijven de orkanen?
10. Waarom warmt de aarde niet op volgens het boekje?
11. Wat is precies de rol van CO₂?

De (NW&T) antwoorden, voorzien van literatuurverwijzingen, suggereren dat er iets wezenlijks mis moet zijn met de AGW-hypothese en de klimaatscenario's waarin deze hypothese wordt gebruikt.

1.4. KNMI: 'Veel gestelde vragen'

Men heeft in 'De Bilt' dit soort vragen waarschijnlijk zien aankomen en daarom op het hoofdblok 'klimaat' het afzonderlijke blok 'Veel gestelde vragen' ingericht, waarin nogmaals uitvoerig de AGW-hypothese wordt toegelicht. Deze zijn onder de hoofdjjes waarnemingen, oorzaken, gevolgen en scenario's gerangschikt:

Waarnemingen

1. Is klimaatverandering gestopt sinds 1998?
2. Laten de satellieten minder opwarming zien?
3. Klopt de 'hockeystick'?
4. Wat is de bijdrage van het stedelijk warmte-eiland effect aan de opwarming?

Oorzaken

5. Bepaalt de temperatuur de CO₂-concentratie of andersom?
6. Is waterdamp het belangrijkste broeikasgas?
7. Wat is de rol van de zon in de waargenomen opwarming?
8. Wat is de rol van kosmische straling in het klimaatsysteem?

Gevolgen

9. Zal het ijs van Groenland desintegreren en leidt dit tot meters zeespiegelstijging?
10. Is er een verband aangetoond tussen klimaatverandering en de frequentie en kracht van orkanen?
11. Smelt het ijs op Groenland?
12. Hoe snel stijgt de zeespiegel en wat betekent dit voor Nederland?
13. Wat is de rol van klimaatverandering in de hittegolf die Europa in 2003 teisterde?
14. Hoe groot zijn de huidige effecten van klimaatverandering?

Scenario's

15. Hoe bruikbaar zijn klimaatmodellen?
16. Als we het weer van volgende week niet kunnen voorspellen, waarom dan wel het klimaat van de volgende eeuw?

Zoals reeds opgemerkt, staan wij kritisch ten opzichte van de wijze waarop het KNMI de vragen uitsluitend vanuit het standpunt van het IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) heeft beantwoord. Op basis van de eerder genoemde rapporten (ISPM en NIPCC) en de daarin aangehaalde wetenschappelijke literatuur, worden in de volgende hoofdstukken dezelfde onderwerpen behandeld als genoemd in de KNMI-vragen.² Gezien het hiervoor breder gekozen perspectief dan dat van de AGW, wordt dit vooraf gegaan door een meer algemene beschouwing over de begrippen 'klimaat' en 'klimaatverandering'.

Sinds het begin van dit jaar is er een toenemend aantal publicaties verschenen die in strijd zijn met de AGW-hypothese, bijvoorbeeld over ijsboorkernanalyses waaruit CO₂-concentraties in het verleden werden afgeleid, die wellicht een correctie met 100 ppm naar boven noodzakelijk maken, vergeleken met de door het IPCC gepubliceerde cijfers. Een andere voorbeeld: uit nader onderzoek aan bomen blijkt dat bepaalde soorten over een intern mechanisme beschikken om de temperatuur in het bladgroen

² Onze alternatieve antwoorden op de KNMI vragen werden tot dusver door drie landgenoten bekritiseerd. Een enkel cruciaal hoofdstuk is in Engelse vertaling aan buitenlandse experts voorgelegd.

te regelen. Deze zijn dus minder of zelfs in het geheel niet afhankelijk van wijzigingen in de temperatuur van de atmosfeer. Daardoor komen de resultaten over temperatuurschommelingen in het verleden aan de hand van boomringanalyses ter discussie te staan.

In deze notitie wordt echter niet naar de meest recente literatuur verwezen, die nog onvoldoende in de wetenschappelijke gemeenschap is bediscussieerd. Tegen het eind van het jaar 2008 is wellicht een opsomming op zijn plaats van de onderzoeken die met de AGW-hypothese in strijd zijn, dan wel deze bevestigen.

2. ENKELE ALGEMENE ONTWIKKELINGEN IN DE KLIMATOLOGIE

2.1. De definitie van klimaat

Klimaat wordt gedefinieerd als een gemiddelde conditie over 30 jaar van weersomstandigheden, zoals temperatuur, druk, relatieve vochtigheid, neerslag, bewolking, overheersende windrichtingen enz.

Klimaat is sterk aan locatie gebonden. Zo spreken we bijvoorbeeld van een land- of zeeklimaat, een tropisch of een gematigd klimaat. Een bepaald klimaat is ook tijdsgebonden. Het tijdsbestek van gemiddeld 30 jaar is een arbitraire keuze om klimaatveranderingen over langere perioden in kaart te brengen. Zo kennen we, gebaseerd op historische beschrijvingen, in Europa een relatief warme Romeinse periode tijdens het begin van onze jaartelling, die door een koude fase in de vroege middeleeuwen werd gevolgd, maar waarna weer een warme periode optrad, bekend als het 'middeleeuws klimaatoptimum'. De periode van de late middeleeuwen tot het midden van de 19de eeuw, staat bekend als de 'Kleine IJstijd'. Op schilderijen uit die periode zien we vaak taferelen afgebeeld waaruit blijkt dat de winters vrij streng waren. Vanaf omstreeks 1850, ook het begin van betrouwbare locale temperatuurmetingen door weerstations, lijken we door een temperatuurstijging weer in een meer comfortabel klimaat te zijn terecht gekomen.

We moeten wel goed onderscheid maken tussen plaatselijke klimaten, en een gemiddeld *wereldklimaat*. Deze hebben meestal weinig met elkaar te maken. Wanneer we spreken over 'global warming', dan beperken we ons tot een gemiddeld wereldklimaat.

De 'temperatuur' is bij beschrijvingen van een klimaat een belangrijke indicatie. De temperatuur wisselt echter sterk in de gematigde en polaire zones per dag en nacht, per maand, per seizoen en per jaar. Daarom berekent men gemiddelden per 24 uur, per maand of per jaar, zodat men de temperatuur als een aanwijzing voor *locale* klimaatveranderingen kan gebruiken. *Om fundamentele redenen* is een 'gemiddelde' temperatuur echter niet een kenmerk van een heterogeen systeem dat niet in inwendig evenwicht is. Zo'n gemiddelde heeft dus maar beperkte praktische betekenis. De consequentie hiervan is, dat als men een gemiddelde wereldtemperatuur probeert te bepalen, daar een inherente onnauwkeurigheid in zal zitten. Die kan enkele tienden van een graad C bedragen. Dit kan betekenen dat de temperatuurfluctuaties die wij menen te registreren niet noodzakelijkerwijze verband houden met externe energietoe- of afvoer aan het systeem aarde.

Op een geologische tijdschaal ligt dit anders en kunnen uitwisselingen van de vegetatie en van de chemische samenstelling van mineralen en gebeenten, grote temperatuurschommelingen worden afgeleid over periodes van honderdduizenden jaren. Daarbij gaat het in het bijzonder om ijstijden (glacialen), tijdens welke grote delen van de aarde door ijs werden bedekt, en de tussenliggende warme perioden (de interglaciale perioden).

2.2. De stand van de wetenschap in het midden van de 20ste eeuw³

In een bepaalde klimaatzone wordt het klimaat door vijf hoofdelementen bepaald:

- De lokaal ontvangen stralingsenergie van de zon, die sterk afhangt van de breedtegraad.
- De reflectie daarvan door het lokale wolkendek en het aardoppervlak.
- De lokale verdeling van het land en de zee.
- De topografie waarbij gebergten meteorologische interacties tussen onderscheidene zones begrenzen.
- De bewegingen van belangrijke golfstromen en opwellingen uit de diepzee.

En voorts, op microniveau:

- De vegetatie, de aanwezigheid van meren, steden en industriële activiteiten.

Behalve de lokaal direct ontvangen stralingsenergie van de zon, zijn vooral ook de dampkring en de energietransporten die daarin horizontaal en vertikaal plaatsvinden van groot belang om in de lokale klimaatzones een bepaalde conditie te bewerkstelligen. Zonder die dampkring en de energietransporten die over de grenzen van de klimaatzones plaatsvinden, zouden de temperatuurverschillen tussen de equator en een pool zeer groot zijn (in de orde van grootte van enige honderden graden Celsius).

De wijze waarop de dampkring invloed uitoefent is zeer wisselend. Deze heeft een sterk chaotisch karakter door de moeilijk (zeker op langere termijn) voorspelbare verandering van winden en bewegingen van hoge en lage drukgebieden en ook vanwege verschillen in watergehalte van de dampkring. Het grootste energietransport vindt plaats via zeestromen, vanwege de grote warmtecapaciteit van water. Mede daardoor hebben de zeestromen een sterk stabiliserende invloed op het klimaat van landen die niet ver van de zee liggen. Daarbij komt dat 70% van het aardoppervlak bestaat uit oceanen. In de gematigde klimaatzones blijft de wisselvalligheid echter toch groot.

Ondanks genoemde natuurlijke wisselvalligheid over jaren en decennia, meende men anno 1960 toch al enig inzicht te hebben in de oorzaken die op wereldschaal de klimaatvariabiliteit in locale klimaatzones gedurende de laatste 10.000 tot 1000 jaar hebben beïnvloed. In de Encyclopaedia Britannica vinden we hierover de volgende passage: 'Het brede patroon van klimaatveranderingen in deze periode is in overeenstemming met de hypothese van afwisselende afzwakking en versterking van de atmosferische circulatie, die verbonden zijn met afwisselende poolwaartse en equa-

³ Ontleend aan Encyclopaedia Britannica 1964, vol. 5, 914-927.

torwaartse veranderingen van de windzones. Tijdens perioden met geringe circulatie trekken de westenwinden rond de polen samen en er treden veel anticyclonen op tussen de keerkringen. De winden zijn variabel, de regenval is relatief gering en het klimaat heeft een 'continentaal karakter' dat wordt gekenmerkt door koude winters en warme zomers. Als de circulatie sterker is, overheersen de westenwinden. Er treden dan meer stormen op, die tot lagere breedtegraden doordringen. De regenval is heftiger en het klimaat krijgt meer het karakter van een zeeklimaat. Dit was de algemene situatie in het Atlantische gebied, met enkele onderbrekingen na 1200.'

2.3. Wetenschappelijke ontwikkeling sinds 1965 – de ontwikkeling van de theorie van de invloed van CO₂ op het broeikaseffect.

Men heeft tegenwoordig een goed inzicht in de mogelijke oorzaken van de klimaatwisselingen in Nederland en West-Europa gedurende de laatste decennia. Het KNMI heeft aan dit onderzoek belangrijke bijdragen geleverd. Er is een sterke samenhang waargenomen tussen klimaatwisselingen en de zogenaamde Noord Atlantische Oscillatie (NAO). De NAO is een periodiek veranderend gemiddeld luchtdrukverschil dat boven de oceaan tussen IJsland en de Azoren wordt waargenomen. Ons 'weer' lijkt in hoge mate te worden beïnvloed door wat zich in de atmosfeer boven de Atlantische Oceaan afspeelt.

Er was anno 1960 nog weinig aandacht voor het effect van de CO₂-concentratie op het zogenaamde broeikaseffect. Dat is het gevolg van de warmte die door de atmosfeer wordt vastgehouden, hoofdzakelijk door het vermogen van waterdamp om over een breed spectrum in het infraroodbereik stralingsenergie te absorberen (en te emitteren). Wel was door geologen vastgesteld dat afwisseling van ijsstijden en interglacialen met grote sprongen in de CO₂-concentratie in de atmosfeer gepaard ging. Op grond hiervan beargumenteerde Arrhenius in 1896 dat de CO₂ een belangrijke invloed zou hebben op de temperatuurvariaties tijdens ijsstijden en interglacialen

Deze argumentatie (die rond 1900 al was weerlegd, in het bijzonder door Ångström) werd door de grondleggers van de AGW-hypothese in de jaren '80 weer uit de kast gehaald. De theorie van Arrhenius over de verklaring van het optreden van ijsstijden als gevolg van het atmosferisch CO₂-gehalte kan echter worden weerlegd op grond van meer nauwkeurige analyse van wat zich op een *geologische* tijdschaal afspeelde. De verandering in de CO₂-concentratie *volgt* de temperatuurveranderingen en niet omgekeerd.

Maar wat zich thans afspeelt, mogelijk onder invloed van de verhoogde menselijke productie van CO₂, hoeft in principe niet vergelijkbaar te zijn met wat zich op een geologische tijdschaal voordeed.

2.4. De hedendaagse wetenschappelijke controverse

In de periode na de 'Kleine IJstijd' (dus vanaf ca 1850) is de wereldgemiddelde temperatuur met 0,6 - 0,8 °C gestegen. Dat is op zich weinig bijzonder. Deze periode valt echter samen met een industriële ontwikkeling waarbij een exponentieel toenevend gebruik van fossiele brandstoffen heeft plaatsgevonden, waarbij meer dan in

voorgaande eeuwen door de bedrijvigheid CO_2 in de atmosfeer is uitgestoten. Men heeft een verband gelegd tussen beide feiten: de temperatuurstijging sinds 1850 en de toenemende productie van CO_2 door menselijke activiteit. Dit verband is gebaseerd op de theoretische veronderstelling dat de CO_2 -concentratie in de atmosfeer een bijdrage levert aan het broeikaseffect. Het valt echter wel direct op dat een groot deel van temperatuurstijging heeft plaatsgevonden vóór 1940, terwijl verreweg het grootste deel van de toename in CO_2 -concentratie juist daarna plaatsvond.

In de atmosfeer is van 0 tot 10 km hoogte sprake van een temperatuurgradiënt van gemiddeld $+15^\circ\text{C}$ tot -50°C , die samenhangt met het drukverschil en die, naar men veronderstelt, mede wordt beïnvloed door de concentratie van de in de atmosfeer aanwezige warmtestraling-absorberende en -emitterende stoffen.

De huidige hypothese van het toenemen van het broeikaseffect, waarop de IPCC-rapportage is gefundeerd, is goed beschreven in verschillende handboeken.⁴ Zij is gebaseerd op klassieke fysische wetten over absorptie en emissie van straling, waarvan de uitwerking met wiskundige formules wordt beschreven. Met deze tamelijk ingewikkelde formules wordt vervolgens met de computer de invloed op de temperatuurgradiënt berekend.

De handboeken geven ook aan waarom deze berekeningen niet zondermeer overeenstemmen met de waarnemingen. De temperatuur van de atmosfeer is namelijk niet alleen afhankelijk van de absorptie en emissie op elke hoogte, maar ook van een complex vertikaal warmtetransport via luchtmassa's waarbij vooral de rol van waterdamp van belang is.

De tegenstanders van de AGW-hypothese menen dat de beweging van waterdamp door de atmosfeer van veel grotere invloed is op de temperatuurgradiënt in de atmosfeer dan het CO_2 , dat in veel kleinere hoeveelheden aanwezig is. Bij de hierna te behandelen afzonderlijke onderwerpen, gegroepeerd aan de hand van de KNMI-vragen, zal dit fenomeen nader worden toegelicht.

In het wetenschappelijk debat over de theorie van het broeikaseffect storen de klimaatsceptici zich vooral aan het feit dat de aanhangers van de AGW-hypothese de gewoonte hebben om elk signaal dat op een lokale klimaatverandering wijst (bijvoorbeeld het afsmelten van gletsjers) in verband brengen met een verondersteld wereldwijd effect van CO_2 in de atmosfeer. Maar dit wereldwijde effect is twijfelachtig, alleen al op grond van het feit dat het temperatuurverloop op het relatief waterrijke zuidelijk halfrond anders is dan op het noordelijk halfrond waar de meeste continenten liggen. Dit verschil wijst op een invloed van de oceanen (zie hoofdstuk 8). Bovendien kunnen dat soort signalen vaak verklaard worden uit plaatselijke klimaatveranderingen, die weinig te maken hebben met klimaatverandering op wereldschaal. Dit geldt bijvoorbeeld voor de recente temperatuurstijging in West Europa.

De opposanten van de AGW-hypothese menen dat de aanhangers daarvan het algemene inzicht in de oorzaken van klimaatveranderingen, zoals dit in de laatste honderd jaar is gegroeid, verwaarlozen. Zij vinden verder dat de aanhangers van de

⁴ D.L. Hartmann, 'Global Physical Climatology', Academic Press 1994. K.N. Liou, 'An Introduction to Atmospheric Radiation', Academic Press, 2002.

AGW-hypothese te weinig aandacht schenken aan nieuwe inzichten over allerlei verschijnselen die op het klimaat van invloed zijn.⁵

3. TEMPERATUURVERANDERING IN HET BEGIN VAN DE 21^{STE} EEUW

KNMI-vraag:

- *Is de klimaatverandering gestopt sinds 1998?*

Volgens de satellietmetingen is de gemiddelde wereldtemperatuur in de afgelopen 30 jaar met ongeveer 0,3 °C gestegen. Sinds 2000 is de temperatuur echter niet significant veranderd. Een moeilijk punt is of tienden van graden over een periode van 30 jaar van enige betekenis zijn voor het veranderen van de 'gemiddelde weersomstandigheid' op wereldschaal. Vooralsnog ontbreekt daarvoor de wetenschappelijke onderbouwing.

Van wetenschappelijk belang is uiteraard vooral de vraag, waardoor de geringe schommelingen in de temperatuur op een historische tijdschaal (500-1000 jaar) veroorzaakt worden. In principe kunnen drie potentiële bronnen voor opwarming en afkoeling worden onderscheiden.

Ten eerste, op grond van waarnemingen op een geologische tijdschaal, de astronomische invloed. Hiertoe kunnen worden gerekend: de ontvangen energie van de zon, de 'zonne-activiteit', die blijkt uit de zonnewind en de veranderingen in het magnetisch veld van de zon, en de beweging van het zonnestelsel door de melkweg, hetgeen invloed heeft op de hoeveelheid kosmische straling die de aarde uit het heelal ontvangt. Men veronderstelt momenteel dat deze de wolkenvorming beïnvloedt en daarmee weer de hoeveelheid zonne-energie die het aardoppervlak kan bereiken.

Daarnaast zijn op de geologische tijdschaal ook veranderingen in de stand van de as van de aarde en in het aardmagnetisch veld van belang. Op een historische tijdschaal zijn deze van geen betekenis.

De deskundigen zijn het er vooralsnog niet over eens in hoeverre de eerder genoemde astronomische invloeden zich ook op een kortere tijdschaal doen gelden. Sommigen menen dat de zon de laatste 30 jaar actiever is geweest dan in de afgelopen duizend jaar daarvoor; anderen spreken dit tegen. Echter, algemeen wordt wel aanvaard dat in het patroon cycli zijn te herkennen. De koudste periode van de Kleine IJstijd (17de eeuw) valt samen met een daling van de zonne-activiteit. Als het patroon dat men meent te herkennen zich voortzet, is binnenkort een volgende daling van enkele tientallen jaren te verwachten, na een temperatuuromslag die omstreeks 2012 zou plaatsvinden. De stabilisatie van de gemiddelde wereldtemperatuur na 2000 zou een aanwijzing in die richting kunnen zijn.

Een tweede oorzaak van temperatuurschommelingen kunnen veranderingen in atmosferische omstandigheden zijn, in het bijzonder het zogenoemde broeikaseffect. Dat is het effect dat warmte in de atmosfeer wordt vastgehouden door broeikasgas-

⁵ M. Leroux, 'Global warming: The Erring Ways of Climatology'. Springer, 2005.

sen, voornamelijk H₂O en CO₂. Deze mogelijkheid heeft de laatste dertig jaar veel aandacht gekregen, ondermeer van het IPCC. De veronderstelling is dat een toenemend CO₂-gehalte van de atmosfeer een wezenlijke invloed op het vasthouden van warmte zou hebben. Dit is gebaseerd op het fysische principe dat CO₂ warmtestraling absorbeert. Of CO₂ *in situ* (in de atmosfeer) ook dit effect heeft, is verre van zeker. Het is niet experimenteel bewezen en theoretisch aanvechtbaar omdat CO₂ niet alleen warmtestraling absorbeert maar ook emitteert (uitzendt) en omdat het onzeker is hoe beide processen uitwerken op de temperatuurgradiënt in de atmosfeer, naast andere fysische processen zoals convection en waterverdamping. Bovendien wordt betoogd dat de absorptie door CO₂ bijna verzadigd is, zodat verdere verhoging van de concentratie nog maar weinig effect kan hebben. Experimenteel is het netto effect moeilijk vast te stellen.

Een derde oorzaak van temperatuurschommelingen kan gezocht worden in de warmtecapaciteit van de aarde zelf, met name in die van de oceanen, die 70 % van het aardoppervlak beslaan. In de oceanen doen zich gecompliceerde horizontale, maar ook verticale stromen voor, die warmte en koude naar het oppervlak kunnen brengen. Ook hierin zijn cycli te herkennen, zonder dat de oorzaken **nog volledig** duidelijk zijn. Men moet hierbij bedenken dat er een vrij effectieve warmte-uitwisseling plaatsvindt tussen de atmosfeer en de oceanen, en dat de warmtecapaciteit van de oceanen ongeveer 1000 x groter is dan die van de atmosfeer. Het wordt algemeen aanvaard dat de piek in de gemiddelde wereldtemperatuur in 1998 kan worden toegeschreven aan een Pacific-zeestroming, genaamd El Niño, en de daarop volgende dip aan een andere: La Niña. In ieder geval is duidelijk dat deze oceaانبewegingen een grote invloed hebben op de gemiddelde temperatuur van de atmosfeer.

Een cruciale vraag is of de verandering van de CO₂-concentratie, in de atmosfeer, als gevolg van menselijke emissies, een wezenlijke invloed kan hebben op de effecten van de hier boven genoemde natuurlijke processen die de temperatuurfluctuaties veroorzaken.

4. TEMPERATUURWAARNEMINGEN DOOR SATELLIETEN SINDS 1980

KNMI-vraag:

- *Laten satellieten minder opwarming zien?*

Satellieten meten de temperatuur door de gehele atmosfeer, maar ook in het bijzonder in de onderste luchtlaag nabij het aardoppervlak: de troposfeer. Daarnaast wordt in de troposfeer dagelijks ook met circa 100 weerballonnen gemeten. Grondstations meten op een standaardhoogte van 2 m boven de grond.

De temperatuur neemt in de troposfeer snel met de hoogte af, zodat satellieten en weerballonnen lagere waarden meten dan de grondstations. Voor de toetsing van de theorieën over de opwarming is echter van belang hoe de verschillende temperaturen *veranderen*. Volgens de gangbare AGW-hypothese zou de troposfeer 1,2 maal sneller moeten opwarmen dan het oppervlak.

De grondstations maten tussen 1970 en 1998 een temperatuurstijging van 0,2 °C per decennium. Er zijn echter belangrijke redenen om aan te nemen dat de stijging

van de bij de grond gemeten temperaturen veroorzaakt wordt door andere effecten, zoals uitbreiding van stedelijke en industriële gebieden.

De twee groepen die zich met de verwerking van de satellietgegevens bezighouden (UAH, University Alabama Huntsville en het onderzoek bureau RSS) vinden respectievelijk 0,14 en 0,18 °C verhoging per decennium sinds 1979 . Die van de UAH zouden beter overeenkomen met de waarnemingen van weerballonnen. Beide metingen komen echter lager uit dan die van de weerstations, waarmee in principe de gangbare hypothese is gefalsificeerd en dus aan herziening toe zou zijn⁶

De betrouwbaarheid van de metingen van de opwarming van de 3000 meetstations als basis voor het te berekenen wereldwijde gemiddelde staat momenteel ter discussie vanwege het beperkte aantal en de aard van de locaties. Deze zijn bovendien zeer ongelijkmatig over het aardoppervlak verdeeld. Bij het bepalen van een wereldgemiddelde wordt geïnterpoleerd voor gebieden zonder meetstations, waardoor de nauwkeurigheid beperkt is. De satellietwaarnemingen dekken het gehele aardoppervlak, zodat men geneigd is hieraan grotere waarde te hechten. (Zie verder het warmte-eiland effect, hoofdstuk 6).

Een ander belangrijk facet van de satellietmetingen is, dat zij vooral stijging op het noordelijk halfrond constateren - **en** geen stijging, wellicht zelfs een geringe daling, op het zuidelijk halfrond. De stijging van de CO₂-concentratie op het zuidelijk halfrond loopt iets achter bij die van het noordelijk halfrond, maar ook daar is de stijging onmiskenbaar en zou men op grond van de hypothese van het menselijke broeikas-effect ook dáár een temperatuurstijging verwachten.

Voorts valt op dat het zuidelijk halfrond het veel grotere oceaanoppervlak heeft dan op het noordelijk halfrond. Hieraan wordt mede de veronderstelling ontleend dat een eventuele initiële stijging veroorzaakt door meer absorptie van warmtestraling door CO₂ wordt gecompenseerd door sterkere warmteonttrekking door waterverdamming aan het oppervlak. Een andere mogelijke verklaring is de 'eigen' (zelfstandige) bijdrage van de oceantemperatuur aan de temperatuur van de atmosfeer (zie 2) via verticale zeestromen. Waarnemingen wijzen er echter op dat de zeewatertemperatuur van omstreeks 1987 tot 2002 enigszins is gestegen, doch minder dan de atmosfeer en daarna niet meer.

Als we mogen aannemen dat de metingen van de grondstations de minder betrouwbare en de satelliet- en oceaanmetingen de meer betrouwbare zijn, dan is de conclusie dat tussen 1980 en 2000 de gemiddelde wereldtemperatuur met ca 0,3 C is gestegen en dat daarna een stabilisering is ingetreden.⁷

⁶ Voor een grafiek gebaseerd op weerballonnen op 10 km. hoogte in de tropen zie <http://www.climateaudit.org/?p=3161>. Maart 2008 is de laagste waarde sinds het begin in 1958. Terwijl de modellen aangeven dat de meeste opwarming, ongeveer 2x de oppervlakteopwarming, op 10 km. hoogte zou moeten plaatsvinden.

⁷ De temperatuurmetingen in de oceaan zijn tot dusver beperkt en laten nog geen conclusies toe die voor de gehele wereld gelden. Doch onlangs is een netwerk (ARGO) van 3000 boeien in gebruik genomen, zodat binnen enkele jaren beter gefundeerde conclusies kunnen worden getrokken.

5. HET VERONDERSTELDE TEMPERATUURVERLOOP SINDE DE MIDDELEEUWEN.

KNMI-vraag:

- *Klopt de hockeystick?*

De 'hockeystick-affaire' heeft een smet geworpen de rapportage van het IPCC. Het betreft hier een publicatie van onderzoek aan boomringen waaruit werd afgeleid dat de temperatuur eind 20ste eeuw nog nooit zo hoog was sinds de middeleeuwen. De publicatie werd te snel als gezaghebbend in het IPCC 2001- rapport opgenomen. De publicatie ontkende het bestaan van de zogenaamde warme middeleeuwen en dit werd aanleiding om de gebruikte statistische methoden aan een nader onderzoek te onderwerpen.

Zo'n onderzoek zoals aan boomringen, wordt een 'proxy'-onderzoek genoemd, (afgeleid van 'approximation') omdat de heersende klimaatomstandigheden ten tijde dat de boomring werd gevormd, er nog uit moeten worden afgeleid. De temperatuur is één van de factoren die geacht wordt de vorming van de boomring te beïnvloeden. De Canadees Stephen McIntyre verzocht de oorspronkelijke auteurs van de hockeystick, Mann, Bradley en Hughes, hun proxy data voor onderscheidene boomsoorten ter beschikking te stellen. Het lukte hem aanvankelijk niet de resultaten te reproduceren. Mann stelde daarop een ftp-server beschikbaar waarop McIntyre een map getiteld 'censored directory' aantrof. De map bleek berekeningen te bevatten die uitwezen dat zonder een specifieke 'proxy' – de 'bristlecone pine' in Californië – de hockeystickvorm verdween. In de oorspronkelijke Nature-publicatie hadden de onderzoekers echter gesteld dat de hockeystick 'robuust' was, dus ongevoelig voor één enkele 'proxy'.

McIntyre en een andere Canadees, Ross McKittrick, lieten in 2005 in een publicatie in Geophysical Research Letters zien dat de rekenmethode van Mann *et al* in principe altijd tot een hockeystickvorm leidt, zelfs bij het gebruik van ruis als input. De twijfels over het bestaan van de warme middeleeuwen – de periode toen de Vikingen op Groenland woonden werden daarmee weggenomen. Het is een belangrijke kwestie, want de klimaatvariatie op de schaal van eeuwen kan ons iets leren over de natuurlijke variatie van het klimaat.

De onderzoeksgemeenschap en het IPCC hebben de kritiek op de hockeystick grotendeels genegeerd. De hockeystick is in iets gewijzigde vorm weer opgenomen in het vierde IPCC-rapport, op basis van een tiental andere klimaatreconstructies. Deze andere reconstructies zouden bewijzen dat de hockeystick wel degelijk valide zou zijn. McIntyre heeft op zijn blog 'Climateaudit' laten zien waarom dit argument niet klopt. De andere reconstructies zijn vaak slechts gebaseerd op tien tot vijftien 'proxies', waardoor het gevaar van 'cherry picking' (selectief citeren) erg groot wordt. Er is een handjevol 'proxies' met de 'gewenste' hockeystickvorm dat telkens weer wordt gebruikt.

De grote vraag is echter of boomringen *überhaupt* wel te gebruiken zijn als temperatuurproxies'. Vanaf het midden van de twintigste eeuw volgen veel boomringen de temperatuurstijging op aarde niet meer en worden de ringen juist dunner in plaats van dikker. Dit fenomeen wordt ook wel het divergentieprobleem genoemd. In het

IPCC-rapport is dit verschijnsel, ondanks aandringen van McIntyre, echter vrijwel onbesproken gebleven.

De vraag is nu niet meer zozeer of de warme en koude perioden zich over 2000 jaar hebben voorgedaan, dan wel hoe groot de temperatuurvariëaties in elk daarvan zijn geweest. Het gaat hierbij om tienden van graden. Lag de temperatuur in de warme middeleeuwen 0,3 of 0,5 °C boven een 1000-jaargemiddelde en in de Kleine IJstijd 0,3 of 0,5 °C daaronder? De temperatuurstijging in de vorige eeuw, sinds het einde van de Kleine IJstijd afgeleid uit weerstationmetingen, bedraagt 0,7 °C. De opwarming is dus bepaald vanaf een dieptepunt. Berekend vanaf het virtuele gemiddelde kan de afwijking eind 20ste eeuw dus nog steeds van dezelfde orde van grootte zijn, als in voorgaande 'extreme' perioden. Gezien de stabilisatie van de temperatuur sinds 2000 zou de voorgaande temperatuurstijging al weer op zijn retour kunnen zijn, hoe hoog de piek ook tijdelijk geweest moge zijn.

Bij het bestuderen van de opwarming (of de afkoeling) van de aarde, is het nodig niet alleen naar de temperatuur op een bepaald moment te kijken, maar ook naar de tijd dat die hogere (of lagere) temperatuur heeft geduurd. Dit zegt iets over de in die tijd opgenomen (of afgegeven) hoeveelheid warmte. Aldus kan een 200 jaar durende periode van hoge temperatuur in de middeleeuwen, meer 'warmte' representeren dan 100 jaar in de 20ste eeuw. Conclusies over de hedendaagse opwarming, na de piek bij de eeuwwisseling, zullen moeten worden uitgesteld tot meer over de golflengte van deze temperatuurbeweging bekend is.

6. DE INVLOED VAN LOKALE OMSTANDIGHEDEN OP DE GEMETEN TEMPERATUUR

KNMI-vraag:

- *Wat is de bijdrage van het stedelijk warmte-eilandeffect aan de opwarming?*

Onder dit effect ('Urban Heat Island' effect, UHI) wordt verstaan de invloed die de verstedelijking uitoefent op de *meting* van de temperatuur van grondstations. De satellieten 'zien' de bebouwde omgeving als warmte-eilanden en het ligt dus voor de hand te veronderstellen dat stations die op, of nabij zulke 'eilanden' zijn gelegen met de groei van de economie een grotere temperatuurstijging zullen vertonen dan aan atmosferische invloeden kan worden toegeschreven, met als gevolg dat deze grondstations een te grote bijdrage zouden leveren aan het berekende stijging van het wereldgemiddelde.

In het recente IPCC rapport (2007) wordt deze 'verstoring' ten stelligste ontkend. Er zou hoogstens sprake kunnen zijn van een vertekening van honderdsten graden. Echter, de in hoofdstuk 4 geopperde mogelijkheid dat de grondstations in vergelijking tot satellieten te hoge stijgingsgetallen geven, werd in de VS aanleiding tot nader onderzoek aan de hand van foto's van weerstations. De voorlopige conclusies van dit onderzoek van de Amerikaanse weerman Anthony Watts (zie www.surfacestations.org) zijn vrij schokkend. Zelfs in de VS voldoet een groot deel van de weerstations niet aan de criteria van de World Meteorological Organisation (WMO). Veel stations staan te dicht bij gebouwen, of te dicht in de buurt van asfalt en vaak zijn er warmtebronnen (bijvoorbeeld de uitlaat van een airconditioner) in de buurt.

Zoals gezegd, de satellieten zien de warmte-eilanden, maar omdat zij middelen over het gehele aardoppervlak dragen de eilanden daar weinig aan bij. De VS wordt gerekend tot de landen die het dichtste stationsnetwerk hebben. Het netwerk in de VS is ook het langst in bedrijf. De foto's laten zien dat een groot aantal stations te hoge waarden *moeten* geven omdat hun thermometers niet volgens de voorschriften van de WMO zijn opgesteld (te dicht op asfalt of bij gebouwen).

Naast dit praktijkonderzoek is er ook een aantal artikelen gepubliceerd waarin de opwarming door stedelijke effecten geschat wordt. In de VS bleek dat de gemiddelde temperaturen in grote stedelijke agglomeraties wel 2 °C hoger kunnen zijn dan op het omringende platteland. Roger Pielke sr en collega's stellen dat grondtemperaturen (2 m) sowieso niet geschikt zijn omdat de nachtmetingen onbetrouwbaar zijn. Overdag is er genoeg convectie en wind om de lucht goed te mengen zodat de lucht nabij het station representatief is voor het lokale weer. Maar 's nachts gaat het fout omdat er te weinig turbulentie is waardoor de lucht niet goed gemengd wordt. In een experiment in Oklahoma constateerde Pielke dat de temperaturen op 9 m hoogte al sterk afwijken van die op 2 m hoogte. Dit leidt volgens Pielke tot een valse opwarming die wel 30% van het totale signaal kan uitmaken.

Patrick Michaels en Ross McKittrick onderzochten in hoeverre het patroon van opwarming op het aardoppervlak gecorreleerd is aan economische parameters. Algemeen wordt aangenomen dat CO₂ zich snel verspreidt over de atmosfeer, waardoor landen die veel CO₂ uitstoten niet per se sterker opwarmen dan landen die weinig CO₂ uitstoten. Michaels en McKittrick vonden echter een correlatie tussen opwarming en economische parameters die statistisch zeer significant is. Zij schatten dat de gemeten 'wereldtemperatuur' vanaf 1980 de werkelijke opwarming met 50% overschat. Dat zou betekenen dat de opwarmende trend slechts 0,14 graden Celsius per decennium is in plaats van 0,2. Die trend ligt dan dicht bij de satellietreeks van UAH die eveneens uitkomt op 0,14 graden per decennium. Het IPCC-rapport geeft geen uitsluitel of dergelijke 'onbetrouwbare' stations al dan niet bij het berekende wereldgemiddelde zijn betrokken.

De Bilt wordt tot een van de meest betrouwbare stations ter wereld gerekend. Er worden sinds Buys Ballot (1850) metingen gedaan en het Nederlandse netwerk is daarbij ook zeer goed. Opvallend is dat de hier gemeten temperatuurstijging over de laatste decennia tot de hoogste in de wereld behoort. Ook rond De Bilt is de stedelijke bebouwing opgerukt, echter vergelijking met het meer rurale gebied in Soesterberg leverde op, dat deze afstand voor De Bilt zelf geen significant warmte-eilandeffect aangaf. Dit levert dus geen verklaring op voor de relatief hoge nationale temperatuurstijging, die zich kennelijk verder uitstrekt dan een enkel station. Zou Nederland niettemin kunnen lijden onder een lokaal versterkt broeikaseffect? Bij voorbaat is dit niet uit te sluiten. In het bijzonder de Randstad hoort tot de dichtst bevolkte gebieden in de wereld, met een hoge industrie-dichtheid en een hoog welvaartsniveau waarmee een grote energieconsumptie gepaard gaat. Deze hoge energieconsumptie gaat niet alleen samen met een hoge CO₂-productie maar ook met de productie van restwarmte bij de energieconversies. Uiteindelijk wordt immers alle arbeid, opgewekt

door welke energiebron dan ook, in warmte omgezet. Recente berekeningen⁸ geven aan dat deze laatste productie niet verwaarloosbaar klein is, en wel in de orde van grootte van enige W/m^2 kan zijn. Voor het minder dichtbevolkte buurland Duitsland ligt deze waarde aanzienlijk lager. Deze (rest)warmtestroom kan men zien als een soort “geothermische” energiebron die door de (humane) biosfeer wordt opgewekt.

Deze levert niet een *stedelijk* warmte-eilandeffect zoals in het voorgaande beschreven, waardoor lokale temperatuurmetingen afwijken, maar een *regionaal* warmte-eilandeffect.

Gezien de regionale verschillen in temperatuurstijging die ook elders zijn gevonden tussen gebieden met verschillend bruto nationaal product, is genoemde regionale warmteproductie waarschijnlijk een wezenlijke component van de oorzaken die tot stijging van het berekende wereldgemiddelde temperatuur leidt. Het merendeel van de economische activiteiten vindt op het noordelijk deel van het noordelijk halfrond plaats, en geeft een aanvullende verklaring waarom de opwarming niet gelijkmatig over de planeet plaatsvindt (zoals blijkt uit satellietwaarnemingen). Het relatief grote aantal weerstations op het noordelijk halfrond verklaart waarom het wereldgemiddelde een overtrokken beeld van de wereldwijde opwarming geeft. De invloed van de economische activiteit zou ook kunnen verklaren waarom de temperatuurpiek in de 20ste eeuw mogelijk een paar tienden graden hoger kan uitvallen dan bijvoorbeeld in de warme middeleeuwen, ervan uitgaande dat indien de astronomische invloeden in beide perioden gelijkwaardig zijn geweest.

7. DE RELATIE TUSSEN GEMIDDELDE CO₂-CONCENTRATIE EN GEMIDDELDE TEMPERATUUR.

KNMI-vraag:

- *Bepaalt de CO₂-concentratie de temperatuur of andersom?*

Op een lange tijdschaal vertonen veranderingen in CO₂-concentratie en temperatuur een opmerkelijke analogie. Op een geologische tijdschaal gaat het hier om honderdduizenden jaren, op de historische tijdschaal om decennia. Op de geologische tijdschaal gaat het in het bijzonder om de afwisseling van ijstijden en tussenijstijden. Uit ijsboorkernmetingen heeft men kunnen afleiden dat tijdens de warme tussenijstijden de CO₂-concentratie bijna 100 ppm hoger was dan tijdens ijstijden. In de huidige tussenijstijd is er over de periode van de 20ste eeuw sprake van een verdere stijging van ongeveer 280 ppm tot 370 ppm, die met een temperatuurstijging van ca. 0,7 °C gepaard ging. Het temperatuurverschil tussen ijstijd en tussenijstijd bedraagt ca 10 °C, zodat men per graad temperatuurstijging een waarde kan berekenen van 10 ppm/°C. In de 20ste eeuw komt deze waarde dus aanzienlijk hoger uit op $90/0,7 = 130 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$. Gezien het verschil in de hierbij bekeken tijdschaal, respectievelijk 100.000 en 100 jaar, zijn de zich afspelende processen niet geheel vergelijkbaar. Van ijstijd naar tussenijstijd was de verandering in de CO₂-concentratie in de atmosfeer dus 0.1 ppm/eeuw, in de 20ste eeuw 90 ppm/eeuw en de temperatuur-verandering respectievelijk 0,01 °C/eeuw en 0,7 °C/eeuw.

⁸ A.T.J. De Laat en A.N. Maurellis. 'Evidence for Influence of Anthropogenic Surface processes on Lower Tropospheric and Surface Temperature Trends.' International Journal of Climatology. 26 897-913, 2006.

De beide perioden hebben wel een kwalitatief gegeven gemeen, de stijging van de CO₂-concentratie *volgde* de temperatuurverandering en niet andersom. Voor de overgang van ijs-tijd naar tussenijstijd is dit verklaarbaar. De partiële druk van CO₂ is afhankelijk van de watertemperatuur; de oplosbaarheid in oceaanwater neemt af met 10 ppm/°C. En dit getal klopt dus met waarneming van de temperatuurstijging en daling over de betreffende 100.000 jaar, 100 ppm verandering over 10 °C. Het huidige beeld dat men heeft van de overgang van ijs-tijd naar tussenijstijd en omgekeerd, is dat de astronomische invloed de temperatuurverandering veroorzaakte en dit meer, respectievelijk minder CO₂ uit de oceaan vrijmaakte.

Voor wat zich in de 20ste eeuw afspeelt, hebben we met een totaal andere tijdschaal te maken. Per jaar maakt de gemiddelde temperatuur sprongen van de orde van grootte van 0,1 – 0,5 °C die ca 5 maanden later worden gevolgd door sprongen van 2-4 GtC toevoeging van CO₂ aan de atmosfeer wat ongeveer met 1-2 ppm verandering overeen komt. Dit lijkt de regel 10 ppm/°C ook voor deze periode te bevestigen, maar daarbij stuiten we op de paradox dat over de gehele 20ste eeuw de verandering 90 ppm/°C is. Het werkelijk CO₂-gehalte vertoont een voortdurend stijgende lijn en de verklaring ligt voor de hand dat deze moet worden toegeschreven aan de antropogene emissie die steeg van 1 – 6 GtC/j. Overigens is deze stroom slechts een fractie is van de jaarlijkse natuurlijke kringloop, die voornamelijk bestaat uit de uitwisseling tussen oceaan en atmosfeer, tussen diepzee en oceaanoppervlak (orde van groottes 100 GtC/j), en tussen atmosfeer en biosfeer. Daarom wagen sommige onderzoekers te betwijfelen of de gemeten stijging in de 20ste eeuw geheel voor rekening van de menselijke emissie komt. Zij houden rekening met de mogelijkheid dat andere variabele factoren, bijvoorbeeld kleine pH-veranderingen in de opwellende zeestromen, of processen in de biosfeer een bijdrage leveren.

Niettemin lijkt het onwaarschijnlijk dat de waargenomen temperatuurstijging uitsluitend voor de accumulatie van CO₂ in de atmosfeer verantwoordelijk zou zijn.

Het IPCC gaat tot op heden nog steeds uit van de omgekeerde veronderstelling, namelijk dat de stijging van de CO₂ -concentratie door een verhoogd broeikaseffect de temperatuur in de 20ste eeuw heeft doen toenemen. Dit is dus in tegenspraak met de voorgaande beschouwing over wat zich bij de ijs-tijd/tussenijstijd-overgangen *vice versa* en in de 20ste eeuw bij jaarlijkse wisselingen zou hebben afgespeeld. En het IPCC gaat uit van de veronderstelling dat in de 20ste eeuw nauwelijks een astronomische invloed merkbaar is geweest.

Voor de verklaring van de ijs-tijd-overgangen lijkt een samenhang met astronomische invloeden onmiskenbaar. Vrijmaking van CO₂ uit de oceanen of uit de biosfeer van 100 ppm is denkbaar als gevolg van een voorafgaande temperatuurstijging.

Zoals in het voorgaande werd gesteld, zijn processen in de ijs-tijd-overgangen niet vergelijkbaar met de ontwikkelingen in de 20ste eeuw, niet alleen vanwege de verschillen in tijdschaal maar ook omdat we bij de eerste te maken hebben met CO₂-verandering van 180 naar 280 ppm en bij de tweede, van 280-370 ppm in een zeer veel kortere tijd. Het is op voorhand niet uit te sluiten dat temperatuur en CO₂-concentratie elkaar in de 20ste eeuw *wederzijds* beïnvloedden. Maar er is geen waarneming *in situ* die daarop wijst. De gemiddelde temperatuurstijging in het begin van

de 21ste eeuw blijft duidelijk achter bij het veronderstelde verhoogde broeikaseffect van CO₂. Sterker nog: de temperatuur daalt nu enigszins, terwijl de CO₂-concentratie stijgt.

8. DE WATERTHERMOSTAAT

KNMI-vraag:

- *Is waterdamp het belangrijkste broeikasgas?*

H₂O is in drie aggregatievormen in de atmosfeer aanwezig, te weten als damp (gas), als vloeibaar water en als ijs in wolken. Het aardoppervlak bestaat grotendeels uit vloeibaar water (70 % is door oceanen bedekt) en daarnaast als ijs en sneeuw aan de polen en op hoge bergen. Indien om één of andere oorzaak meer warmte door het oppervlak wordt geabsorbeerd, leidt dit in de eerste plaats tot verhoging van de waterverdamping, waardoor de oppervlaktetemperatuur nauwelijks toeneemt. Hierdoor werkt water als de belangrijkste en de meest krachtige regelaar van de temperatuur aan het aardoppervlak. Het waterdampgehalte van de bovenliggende atmosfeer, die grotendeels uit stikstof en zuurstof bestaat, stijgt daarbij. Bij een verticale luchtstroom wordt de aan het oppervlak onttrokken waterdamp naar de hogere, koudere luchtlagen afgevoerd. De met de afkoeling gepaard gaande condensatie (in wolken) maakt de warmte in de hogere luchtlagen weer vrij. Een deel van de vrijgekomen warmte wordt als infraroodstraling naar het heelal uitgezonden. Het gevormde water keert als neerslag weer terug naar het aardoppervlak. Deze watercirculatie leidt dus in eerste aanleg tot een herverdeling van de aan het aardoppervlak extra toegevoerde warmte over oppervlak en atmosfeer, in die zin dat de temperatuur aan het oppervlak minder stijgt dan men aanvankelijk zou verwachten op grond van de daar extra toegevoerde warmte.

De warmteoverdracht tussen aarde plus atmosfeer en het heelal vindt niet plaats via stoftransport, zoals hierboven beschreven, doch uitsluitend door straling. De straling van de zon is de enige natuurlijke energiebron (afgezien van de naar verhouding zeer geringe hoeveelheid warmte die vrij komt uit het binnenste der aarde). Deze straling wordt, indien zich in de atmosfeer geen water bevindt, uitsluitend door het oppervlak geabsorbeerd. De zonnestraling bestaat uit zichtbaar licht en zogenaamd infrarood (onzichtbaar) licht, van langere golflengte. Elk lichaam dat zich op een bepaalde temperatuur bevindt, zendt afhankelijk van die temperatuur infrarood uit. Zo ook het aardoppervlak. Volgens de wet van Stefan-Boltzmann is de uitgezonden straling, uitgedrukt in Watts/m² gelijk aan een natuurconstante σ maal T^4 , waarin T wordt uitgedrukt in Kelvin (1 K = graden C + 273). Het aardoppervlak wordt door de zonnestraling opgewarmd, draagt een deel van deze warmte over aan de lucht en zendt langgolelige infraroodstraling uit, overeenkomend met de temperatuur van het oppervlak. De temperatuur die het oppervlak daarbij aanneemt wordt bepaald door de ontvangen zonnestraling, omdat zich een evenwicht zal instellen waarbij het aardoppervlak evenveel energie uitstraalt als van de zon wordt ontvangen.

Indien de atmosfeer waterdamp bevat, wat meestal het geval is, wordt de situatie wezenlijk anders omdat water in belangrijke mate zowel infrarood absorbeert als uitzendt. De absorptie en emissie van zonnewarmte vindt dan niet meer alleen plaats vanaf het aardoppervlak, maar grotendeels door de hele atmosfeer. Maar het eindre-

sultaat zal het zelfde blijven: de ontvangen zonne-energie moet in balans komen met wat aardoppervlak plus atmosfeer gezamenlijk naar het heelal zenden.

Wat is nu eigenlijk de basis voor het (natuurlijke) broeikaseffect? Dat is, dat de oppervlaktetemperatuur aanmerkelijk hoger blijkt te zijn dan (theoretisch berekend) in het geval er geen infrarood/absorberende en emitterende stoffen in de atmosfeer aanwezig zouden zijn. En dit wordt dan toegeschreven aan het verschijnsel dat deze stoffen een gedeelte van de stralingsenergie niet alleen naar het heelal, maar ook terug naar het aardoppervlak zenden. De temperatuur van het aardoppervlak wordt niet alleen meer bepaald door de direct van de zon ontvangen straling, maar ook door de terugstraling en de convectie vanuit de atmosfeer naar het oppervlak. Aangezien H_2O het infrarood-absorberende (en -emitterende) molecuul is dat met meest rijkelijk in onze atmosfeer voorkomt, is water daardoor het belangrijkste broeikasgas.

De cruciale vraag is of infrarood-absorberende moleculen, zoals CO_2 en CH_4 , die slechts als sporen voorkomen naast H_2O , een wezenlijke invloed kunnen hebben.

Het uitgangspunt voor de IPCC-visie is dat verhoging van de CO_2 -concentratie in de atmosfeer een effect *moet* hebben op de opwarming van de atmosfeer omdat het infraroodstraling afvangt bij andere golflengten dan water en dientengevolge dit ook tot meer terugstraling naar het aardoppervlak zal leiden. Voorts wordt door het IPCC aangenomen dat er door de verdamping van water een positieve terugkoppeling ontstaat, waardoor het broeikaseffect van CO_2 zou worden verhoogd. Deze stellingname is aanvechtbaar omdat hierbij geen rekening wordt gehouden met de negatieve terugkoppeling tengevolge van verdamping en condensatie, extra wolkenvorming, extra terugkaatsing van zonlicht en extra warmtestraling van wolken, waterdamp en CO_2 naar het heelal.

Hoewel CO_2 (en CH_4) in principe een broeikaseffect moeten vertonen, is het kwantitatieve *netto* effect theoretisch niet duidelijk en is het niet door waarnemingen *in situ* bevestigd. Integendeel, het zuidelijk halfrond maakt duidelijk dat de waterthermostaat de overheersende regelaar is die de wereldgemiddelde oppervlaktetemperatuur bepaalt. (Zie verder onder 12: De werking van het broeikaseffect.)

9. ASTRONOMISCHE INVLOEDEN

KNMI-vragen:

- *Wat is de rol van de zon in de waargenomen opwarming?*
- *Wat is de rol van de kosmische straling in het klimaatstelsel?*

Op een geologische tijdschaal, en op een lange historische tijdschaal (3000 – 1000 jaar) wordt wisseling van de zonneactiviteit algemeen als de belangrijkste oorzaak van waargenomen klimaatveranderingen beschouwd. Aangezien de zon de enige belangrijke energiebron voor de aarde is, die de weermachine drijft, is er op een historische tijdschaal ook eigenlijk geen andere natuurlijke oorzaak denkbaar.⁹

⁹ De zogenoemde Milankovitch cycli ('orbital forcing'), veranderingen in de baan van de aarde om de zon en veranderende stand van de aardas, hebben slechts langzame veranderingen in de ontvangst van de zonne-energie tot gevolg en zijn voor de tienjarige klimaatveranderingen niet van belang.

De cruciale vraag is echter of de verandering van de zonne-activiteit na het einde van de Kleine IJstijd (1850) ook een wezenlijke invloed heeft gehad op de gemiddelde wereldtemperatuur. Sterke wisselingen in van de zon ontvangen lichtenergie zijn in deze periode niet waargenomen. Maar via versterkingsmechanismen, zijn sterkere wisselingen zeker niet uit te sluiten. De zon zelf vertoont tamelijk regelmatig perioden met frequente 'uitbarstingen' waarbij zonnevlekken indicatoren zijn voor de intensiteit van de uitbarstingen. De tijdschaal is van de orde van grootte van decennia. Maar ook over langere perioden zijn cyclische fluctuaties waarneembaar. Deze zijn met name via metingen van kosmogene isotopen in jaarringen van bomen en in boringen uit ijsafzettingen zichtbaar geworden. Uit gedetailleerd onderzoek van meer-sedimenten, veenafzettingen en afzettingen in druipsteengrotten is duidelijk gebleken dat het klimaatsysteem hypergevoelig is voor relatief kleine veranderingen in de activiteit van de zon.

Voor klimaatveranderingen op een lange geologische tijdschaal is vooral de beweging van het gehele planetenstelsel door de armen van het melkwegstelsel van belang waarbij gebieden met sterke en minder sterke kosmische straling worden doorlopen. Voor de historische tijdschaal is deze beweging niet van belang, maar hieruit is wel een direct effect van kosmische straling op het wereldklimaat gebleken. De kosmische straling is vooral afkomstig van supernovae (ontploffende sterren) uit ons eigen Melkwegstelsel, en daarnaast, in mindere mate, uit andere Melkwegstelsels. Het grootste deel daarvan dringt echter niet ver in de aardatmosfeer door. Boven genoemde wisseling in zonneactiviteit op de historische tijdschaal gaan echter gepaard met wisselingen in het magnetisch veld van de zon, waardoor, kosmische straling meer of minder wordt afgebogen. De stralingsdeeltjes die in de atmosfeer doordringen veroorzaken de vorming van ionen en elektronen, die tot condensatiekernen voor waterdamp leiden, daarmee de wolkvorming sturen en zodoende de hoeveelheid directe zonnestraling die het oppervlak kan bereiken, beïnvloeden. Het onderzoek op dit gebied is nog in ontwikkeling.

Daarnaast hebben veranderingen in zonneactiviteit hoogstwaarschijnlijk effecten op andere meteorologische verschijnselen. De wisselende ultraviolette straling beïnvloedt de aanmaak van ozon in de stratosfeer en daarmee waarschijnlijk de warmte-opname in de atmosfeer. De zon zelf zendt daarbij ook een wisselende hoeveelheid deeltjes uit naar de aarde waardoor het magnetisch veld wordt beïnvloed.

De belangrijkste complicatie bij het begrijpen van wat er nu precies gebeurt, betreft de herdistributie van de ontvangen lokale zonne-energie door de water- en luchtstromen. De oppervlaktestromen, in het bijzonder de golfstromen die zich in de oceanen voordoen, vertonen een vrij constant periodiek maar een zeer gecompliceerd patroon. In tal van golfstromen worden meerjarige oscillaties waargenomen (bijvoorbeeld El Niño en La Niña in de Stille Oceaan) die een grote invloed op het lokale klimaat hebben. Het gaat hier waarschijnlijk om chaotische reacties op de wisselingen van de zonneactiviteit, ook zeer plaatselijk, die een eigen leven gaan leiden op aarde, vanwege de draaiing om de as en de wisseling van seizoenen veroorzaakt door de scheve stand van de aardas.

Omdat vele van deze processen lange tijdsconstanten hebben, kan het *plaatselijke* klimaat op allerlei delen van het aardoppervlak op vrij willekeurige manier fluctueren. Deze fluctuaties kunnen tijdsconstanten hebben in de orde van enkele jaren tot enkele

le decennia. Hoe deze dan op een wereldgemiddelde temperatuur uitwerken is niet zonder meer te overzien. Wij hebben bijvoorbeeld in Nederland opvallend veel koude winters gehad in de jaren '40, doch weinig in de jaren '30 en '50. De belangrijkste klimaatveranderingen op aarde moeten wellicht worden gezien als *klimaatverschuivingen*, in die zin dat het op sommige plaatsen warmer (of droger, of windstiller) wordt en op andere plaatsen kouder (of vochtiger, windriger) – een en ander als gevolg van verschuivingen van grenzen tussen de verschillende (ten minste zes) hoofdklimaatzones op aarde (zie ook hoofdstuk 10).

Samengevat kan worden gesteld dat de invloed die opmerkelijke astronomische verschijnselen kunnen hebben gehad op klimaatverandering op een historische tijdschaal nog verre van duidelijk is, maar wel theoretisch is gefundeerd. Niettemin houdt het IPCC in zijn meest recente report (2007) vast aan de opvatting dat veronderstelde astronomische verschijnselen in recente tijden geen wezenlijke invloed op de gemiddelde wereldtemperatuur kunnen hebben gehad. Dit is gebaseerd op de klimaatmodellen die het IPCC voor zijn argumentatie gebruikt, waarin echter onmogelijk alle in het voornoemde complexe, theoretische invloeden kwantitatief kunnen zijn verwerkt. Zo'n kwantificering is nog niet voorhanden, hoewel het IPCC-rapport dit wel suggereert.

Men lijkt het in wetenschappelijke kring er wel over eens te zijn dat de zon gedurende de laatste 70 jaar actiever was dan in de voorgaande 1000 jaar. Maar dit is op zich ook zeker geen bewijs dat de zon de enige drijvende kracht was achter de gemiddelde temperatuurstijging over de gehele wereld sinds de Kleine IJstijd.

10. GEVOLGEN VAN KLIMAATVERANDERING

KNMI-vragen:

- *Zal het ijs van Groenland desintegreren en leidt dit tot meters zeespiegelstijging?*
- *Is er een verband aangetoond tussen klimaatverandering en de frequentie en kracht van orkanen?*
- *Smelt het ijs op Groenland?*
- *Hoe snel stijgt de zeespiegel en wat betekent dit voor Nederland?*
- *Wat is de rol van klimaatverandering in de hittegolf die Europa in 2003 teisterde? Hoe groot zijn de huidige effecten van klimaatverandering?*

Het afbrokkelen van ijs aan de Noordpool, de zeespiegelstijging die daar mee gepaard kan gaan, het terugtrekken van gletsjers in de bergen, en het veranderen van de kracht en de frequentie van het optreden van orkanen, zijn op zich *signalen* dat zich klimaatveranderingen op de betreffende locaties *kunnen* voordoen, zeker indien zij over decennia aanhouden. Sommige verschijnselen, zoals het smelten van poolijs, of het terugtrekken van gletsjers, kunnen ook andere oorzaken hebben (Oerlemans¹⁰). Ook een enkele warme zomer, zoals in 2003, is op zich geen 'klimaat signaal'. Dit betrof een incident dat kon worden toegeschreven aan bijzondere meteorologische condities, namelijk aan een hardnekkig hogedrukgebied boven Europa, het uitblijven van 'koude' stromen uit de noordelijke gebieden en zuidelijke winden. De temperatuurstijging sinds het einde van de Kleine IJstijd (1850) over een eeuw is wel zo'n

¹⁰ Inleiding bij het KNAW symposium over klimaatverandering in 2007.

signaal en dit geldt zeker ook de relatief sterke temperatuurstijging in Nederland over de laatste decennia, na de laatste elfstedentocht, die vooral voelbaar was in de minder koude winters. Zulke signalen geven geen bewijzen over de mogelijke *oorzaken* van zulke lokale klimaatveranderingen. Franse onderzoekers (Pommier, Leroux) schrijven de Europese opwarming sinds 1980 toe aan het verschijnsel dat minder koude anticyclonen uit het poolgebied zich in onze richting begaven en meer direct zuidwaarts naar de Azoren bewogen. De achterliggende oorzaak, waarom deze anticyclonen hun banen zouden hebben verlegd, is niet duidelijk, maar past wel in klassieke klimatologische theorieën, waarbij periodieke lokale klimaatveranderingen worden toegeschreven aan specifieke windbewegingen in de (zes) zogenoemde klimaat- of windzones, waarbij deze ook hun grenzen verleggen. Locale klimaatveranderingen zeggen weinig of niets over eventuele wereldwijde klimaatveranderingen. Ze kunnen er helemaal los van staan. Citaat: 'The broad patterns of climate changes since the end of the ice age is consistent with the hypothesis of an alternate weakening and strengthening of the planetary atmospheric circulation, associated with alternate polarward and equatorward wind zones.'¹¹ Deze patroonveranderingen gaan ook gepaard met wisselende windkrachten, en wisselende neerslaghoeveelheden. De voor de hand liggende achterliggende verklaring van deze meteorologische verschijnselen, is de samenhang met de zonnecycli.

Een typisch lokaal meteorologisch verschijnsel is ook het ontstaan van orkanen in het equatoriale oceaangebied. De thans algemeen aanvaarde theorie is, dat voor het ontstaan van een orkaan de temperatuur van het lokale zeewater een drempel moet overschrijden.¹² Er ontstaat een sterk opwaartse windstroom rond de centrale cyclus, die zich tot in de stratosfeer uitstrekt, waar de afkoeling plaats vindt en het gevolg is dat een locale sterke energiemachine ontstaat.¹³ De orkanen vervullen een belangrijke functie om overmatige energie die rond de equator (van de zon) wordt ontvangen, naar noordelijke en zuidelijke gebieden te herdistribueren. Opmerkelijk is dat orkanen zich ook in cycli vertonen, wat betreft hun frequentie en kracht, met minima en maxima die ca. 5-10 jaar duren. In de vorige eeuw was in de periode rond 1940 hun frequentie en kracht relatief erg hoog en groot, hoger dan in enige periode daarvoor of daarna. Ook 2004 en 2005 zijn geregistreerd als zeer actieve orkaanjaren, maar waren waarschijnlijk van incidentiele aard omdat het daarna juist opmerkelijk rustig was.

Het merendeel van de gletsjers in de gebergten trekt zich terug sinds het einde van de Kleine IJstijd, wat samenvalt met de waargenomen wereldwijde temperatuurstijging daarna. Enkele gletsjers vertonen echter een aangroei, hetgeen er op wijst dat ook hier lokaal werkzame meteorologische condities van belang zijn.

Het beschrijven van het proces van afsmelten van ijs aan de Noordpool, landijs op Groenland en drijvend zee-ijs, is wellicht één van de grootste puzzels in de hedendaagse klimatologie. Het ligt ook hier voor de hand om een relatie te zien tot de algemene temperatuurstijging sinds 1850, maar glaciologen menen daarnaast ook andere cyclische patronen te kunnen herkennen, die een eigen leven leiden. Zo kunnen kleine verleggingen van zeestromen, met wisselende temperaturen, van grote bete-

¹¹ Enc. Britannica 1965, 5, pagina 927 in 'Climate and Climatology', 914-927.

¹² K. Emanuel, Orkanen. Wet. Bibliotheek NW&T, 2006.

¹³ Deze is vergelijkbaar met een zogenaamde Carnot-machine, die zich volgens de tweede hoofdwet van de thermodynamica gedraagt (en wordt wel de 'stoommachine van de natuur' genoemd).

kenis zijn. Mogelijk zijn zij belangrijker dan atmosferische temperatuurwisselingen omdat de warmteuitwisseling water - ijs relatief intensiever is dan tussen atmosfeer en ijs. Zo is waarschijnlijk het spectaculaire afsmelten bij een schiereiland van Antarctica, dat steeds maar weer voorpaginanieuws is, aan de veranderende watercirculatie rond het werelddeel toe te schrijven, want de temperatuur van de atmosfeer is in de directe omgeving de laatste 30 jaar niet significant veranderd.

Een verschijnsel dat ook nog niet is verklaard is de toename van de ijsvelden rond Antarctica. Opvallend is dat dit in de pers zelden wordt vermeld, terwijl deze toename in de laatste decennia ongeveer even groot was als de afname van de ijsvelden rond de Noordpool.

De start van de stijging van de zeespiegel is een verschijnsel van veel oudere datum dan de temperatuurstijging sinds 1850 en gaat terug tot het einde van de laatste 'grote' ijstijd in het Pleistoceen, 15.000 jaar geleden. De oorzaak was het afsmelten van de grote ijskappen. Versnellingen en vertragingen van de zeespiegelstijging zullen hebben plaats gevonden tijdens warme en koele klimaatfasen. Sinds 1850 is de wereldwijde stijging per eeuw ca. 18 cm., en daar is tot op heden weinig verandering in gekomen. De relatief sterke gemiddelde wereldwijde temperatuurstijging over de afgelopen decennia, blijkt hierop geen sterke invloed te hebben uitgeoefend.

Tenslotte de laatste vraag, hoe groot zijn de effecten van klimaatverandering? Die vraag is dan vooral van belang vanuit de optiek in hoeverre veronderstelde antropogene invloeden, zoals toegenomen CO₂-productie, de natuurlijke achtergrond van klimaatverandering hebben beïnvloed. Er is vooralsnog daarover geen uitsluitsel te geven. Zolang we oorzaak-gevolg relaties in de natuurlijke veranderingen onvoldoende kunnen kwantificeren, noch die van de veronderstelde antropogene invloed, is er ook geen kijk op dat hierover duidelijkheid wordt verkregen. De veronderstelling van het IPCC betreffende een sterke antropogene invloed in de laatste decennia is uitsluitend gebaseerd op de hypothese dat verhoging van de CO₂-concentratie de gemiddelde temperatuurstijging *moet* hebben veroorzaakt en daarmee de waargenomen lokale klimaatveranderingen. Er is vooralsnog geen onderbouwing dat uit *in situ* waarnemingen zou blijken dat dit het geval is. Die is ook moeilijk te geven, tegen de achtergrond van de natuurlijke, wispelturige klimaatveranderingen die door de klassieke klimatologische theorie worden beschreven. De mogelijke antropogene invloed is derhalve niet geheel uit te sluiten. Anderzijds stellen de critici van het IPCC (ISPM) dat de waargenomen lokale veranderingen, binnen de fluctuaties vallen die van natuurlijke invloeden mogen worden verwacht. Maar op zich is dit ook onvoldoende bewijs dat de antropogene invloed nihil zou zijn.

Het verschil in opvatting, of er wel of niet sprake is van een beduidende antropogene invloed, is terug te voeren op een ander principieel verschil in opvatting: is het klimaatstelsel robuust of uiterst gevoelig voor kleine veranderingen in de atmosfeer? Dit is een belangrijke wetenschappelijke vraagstelling waarvan nadere bestudering grote prioriteit verdient. We moeten vaststellen dat deze vraag in IPCC-rapporten niet is uitgediept.

11. HET WETENSCHAPPELIJK GEBRUIK VAN KLIMAATMODELLEN

KNMI-vragen:

- *Hoe bruikbaar zijn klimaatmodellen?*
- *Als we het weer van volgende week niet kunnen voorspellen, waarom dan wel het klimaat?*

In vrijwel alle wetenschappelijke disciplines is computersimulatie een belangrijk instrument geworden bij het doorgronden van complexe processen die niet met eenvoudige wiskundige relaties zijn te beschrijven. Maar de uitkomst van zo'n modellering schept een virtuele werkelijkheid en die is niet zondermeer een weergave van de realiteit. De uitkomst is sterk afhankelijk van de veronderstellingen die bij de berekeningen worden ingevoerd. De belangrijkste veronderstelling in de door IPCC gerapporteerde modellen is, dat vanwege het feit dat CO₂ infraroodstraling absorbeert, de verhoging van de concentratie in de atmosfeer de temperatuur daarvan *moet* verhogen (zie verder onder 12 voor een versterking van dit effect door verhoogde vochtigheid).

In de ISPM (Hoofdstuk 4) wordt uitvoerig ingegaan op de beperkingen die het gebruik van computermodellen in de klimatologie hebben. Een belangrijk element is dat om een model zo dicht mogelijk bij de in het verleden waargenomen werkelijkheid te brengen, 'optimalisatie' steeds een noodzakelijke stap is. Deze optimalisatie houdt in dat een model dat niet klopt met de waarnemingen, daarmee in overeenstemming wordt gebracht door parameters aan te passen. De noodzaak komt voort uit het feit dat de klimaatmodellen *benaderingen* moeten gebruiken van fundamentele fysische processen waarvan de (wiskundige) beschrijving complex of onmogelijk is. Een aantal daarvan wordt ook in de procesindustrie toegepast om verschijnselen in bijvoorbeeld chemische reactoren, ovens en ventilatoren te simuleren om aldus tot verbeterde ontwerpen te komen. In de praktijk van de procestechniek kunnen de modellen worden getoetst, zodat voor elk volgend ontwerp een verbeterd model kan worden gebruikt. Zo kunnen vooral voor 'oude' processen uiterst nauwkeurige ontwerpmodellen ontstaan.

In het ISPM wordt gesteld (paragraaf 4.3c) dat het atmosferisch systeem zodanig complex is dat, zelfs indien een model het huidige gemiddelde klimaat accuraat zou weergeven, na een bepaalde parametrisering, dit geen garantie biedt dat het een toekomstige ontwikkeling betrouwbaar zou kunnen weergeven. Na een in de toekomst waargenomen afwijking kan dan een 'verbeterde' parametrisering worden toegepast. In die zin kan worden betoogd dat het voortgezet testen van de modellen tot voortdurende verbetering ervan zal leiden.¹⁴ En dit is op zich, voor modelmakers, ook in andere disciplines, een boeiende ontwikkeling. De huidige klimaatmodellen (2008) zijn echter in strijd met observaties, in het bijzonder in de tropische atmosfeer en in de atmosfeer van Antarctica. Dit wijst er op dat de klimaatmodellen nog onvoldoende inzicht verschaffen in de processen die de temperatuur van de atmosfeer bepalen.

¹⁴ D.A. Randall, 'General Circulation Model Development, Past, Present and Future'. Academic Press 2000.

Blijft echter de principiële vraag of het werkelijk ooit mogelijk zal zijn om in het complexe chaotische systeem van de atmosferische processen een projectie met voorspellende waarde te maken, op grond van de grondbeginselen die (mathematisch) in de complexiteitstheorie zijn geformuleerd. De klimaatmodellen zijn zogenoemde 'General Circulation Models' (GCM), waarmede lucht en waterstromen op aarde worden beschreven, die ook voor de weersverwachting worden gebruikt. De enorme vooruitgang die er gedurende de laatste decennia op dit gebied is geboekt, dankzij het gebruik van steeds krachtiger computers, zou hoop kunnen geven dat ook klimaatmodellen toch nog verder te verbeteren zijn. Hiervoor zal het in de eerste plaats nodig zijn dat meer inzicht wordt verkregen in de uitwerking van de astronomische verschijnselen op de aardse atmosfeer en op de stabiliteit van de klimaatzones. In de klassieke klimatologie zijn die verschijnselen ook al beschreven, maar een aantal van de astronomische verschijnselen vertoont (gelijk het weer op korte termijn) op lange termijn een zodanig complex gedrag, dat het begin en het eind van een bepaalde fase waarin zij zich voordoen, wellicht nooit voorspelbaar zullen zijn. Niettemin durft een aantal onderzoekers op dit gebied, in het bijzonder de astrofysici, op grond van de regelmaat die in voorgaande jaren in cycli zijn waargenomen, toch in het vooruitzicht te stellen, dat momenteel een wereldomvattende koudeperiode aan het inzetten is. De afgelopen jaren lijkt de gemiddelde wereldtemperatuur zich te stabiliseren. De IPCC-modellen voorspelden dit tot op heden niet, wat er op wijst dat ook in het recente verleden deze modellen de uitwerking van astronomische verschijnselen mogelijk verkeerd hebben ingeschat.

Bij de huidige inzichten in de complexiteitstheorie (ook wel genoemd chaostheorie) durven wij te stellen, dat gevreesd moet worden dat het wereldklimaat *in principe* niet voorspelbaar zal blijken over perioden van enkele tientallen jaren. Anders gezegd: Het wereldklimaat is te ingewikkeld en gedraagt zich te grillig om tot klimaatverwachtingen voor enkele tientallen jaren te komen. Dit ligt anders waar het gaat om het doen van voorspellingen over duizenden of tienduizenden jaren. Daarvoor vallen de betekenis van de grillige variaties in het klimaat in het niet. Hier tellen voornamelijk astronomische processen met zeer lange tijdschalen. (Milankovitch cycli, 'orbital forcing').

12. HET BROEIKASMODEL

Vervolg op KNMI-vraag:

- *Hoe bruikbaar zijn klimaatmodellen?*

12.1 Het huidige model kritisch bekeken

De aanhangers van de AGW-hypothese verkondigen dat de werking van de aardse broeikas goed is begrepen en dat daaraan nauwelijks meer getornd kan worden.¹⁵ De opposanten van de hypothese (o.a. de meteoroloog Lindzen, MIT, de proces-technoloog Essenhigh, Ohio State University, en de atmosferisch fysicus Singer, Vir-

¹⁵ R.T. Pierrehumbert, 'Principles of planetary climate', May 1, 2008.
<http://geosci.uchicago.edu/~rtp1/ClimateBook/ClimateVol1.pdf>

ginia University) menen dat dit allerm minst het geval is, dat de waarnemingen *in situ* de hypothese niet ondersteunen en dat deze er zelfs mee in strijd zijn.

Wat is het fundamenteel wetenschappelijk probleem? Voor een goed begrip is het van belang te herkennen dat de AGW-hypothese uit meerdere componenten bestaat. De eerste en de belangrijkste is de veronderstelling dat toename van CO₂ in de atmosfeer de absorptie van warmtestraling *moet* verhogen omdat het andere infrarood golflengten absorbeert dan het belangrijkste aanwezige 'broeikasgas' water. Op het eerste gezicht is dit plausibel, maar doet zich dit ook in werkelijkheid voor in de aard-atmosfeer? Vooralsnog is dit effect *in situ* niet aangetoond. Op het Zuidpool-station Amundsen wordt dit bijvoorbeeld niet geregistreerd. De CO₂-concentratie aldaar steeg, zoals ook elders in de wereld, zonder dat dit gepaard ging met een significante temperatuurstijging.

Een tweede belangrijke component vormt de theoretische beschouwing over hoe warmtetransport door straling plaatsvindt in een gasmengsel waarin zich infrarood-absorberende en -emitterende moleculen bevinden. Deze moleculen absorberen straling volgens de natuurwet van Lambert-Beer en emitteren volgens de wet van Stefan-Boltzmann. De combinatie van beide wetten leidt tot een onoplosbare wiskundige formule om het proces in het medium te beschrijven. Dankzij computersimulaties kan men echter numeriek een indruk krijgen van wat zich afspeelt. Althans in een stilstaand medium, waarin de temperatuur niet door andere effecten, zoals in de aardse atmosfeer door convectie en wisselvallige meteorologische verschijnselen wordt beïnvloed. De geldigheid van de gebruikte fundamentele fysische wetten wordt niet betwist, maar wèl of zij *in situ*, in combinatie, ook de te verwachten uitwerking hebben.

De derde component in de AGW-hypothese vormen de in het voorgaande hoofdstuk (11) genoemde klimaatmodellen, gebaseerd op de GCM's, die na parametrisatie zouden bevestigen dat de temperatuurstijging gedurende de tweede helft van de 20ste eeuw 'onmogelijk verklaard kan worden zonder het te verwachten verhoogde broeikas effect van CO₂ in aanmerking te nemen'. De belangrijkste tegenwerping daartegen is, dat men de omvang van astronomische invloeden onvoldoende heeft meegenomen. Deze worden ook nog niet geheel doorgrond. Dat andere belangrijke invloeden in de huidige klimaatmodellen onvoldoende zijn verwerkt, blijkt uit het feit dat deze niet de stabilisatie van de temperatuur na 2000 'voorspelden'.

De IPCC rapporten hebben tot op heden geen helder beeld gegeven van waarop het aangehangen broeikasmodel nu precies is gebaseerd. Men moet daarvoor de handboeken raadplegen (zie bijvoorbeeld voetnoot 4). Erkend is wel, dat er nog 'tal van onzekerheden' zijn. Maar het lijkt er op dat het merendeel van de verkondigers van de AGW-hypothese, die geen specialisten zijn op het gebied van stralingsverschijnselen in de atmosfeer, van de theoretische onzekerheden weinig notie hebben en slechts op grond van het simpele gegeven dat CO₂ warmtestraling absorbeert, accepteren dat de atmosfeer *moet* opwarmen – en daarmee het aardoppervlak. Het gaat hierbij niet alleen om onzekerheden bij de toepassing van de gangbare AGW-hypothese, maar ook om, zoals in het voorgaande reeds aangegeven, twijfels over de gebruikte modellering voor de stralingsverschijnselen in de atmosfeer.

De tegenspraak dat CO₂ geen of slechts een geringe invloed kan hebben op de opwarming is echter ook niet ondubbelzinnig experimenteel bewezen. En de tegenspraak is ook theoretisch nog onvoldoende onderbouwd. Men kan slechts stellen dat het AGW-broeikasmodel, ontleend aan GCM's zoals tot nu toe gepresenteerd, in strijd is met de waarnemingen. Dit zou tenminste aanleiding moeten zijn om het heersende broeikasmodel op diens theoretische grondslagen te herzien.

Waar schieten de modellen nu tekort?

In de eerste plaats dient men wat betreft de uitwerking van de fysische eigenschappen van het CO₂ molecuul *in situ* rekening te houden met het feit dat het in de atmosfeer ook de emissie bevordert. Naast de verhoogde terugstraling naar het aardoppervlak leidt dit ook tot verhoogde uitstraling naar het heelal. Een derde van de door de zon ontvangen stralingsenergie wordt in de atmosfeer geabsorbeerd, tweederde bereikt het aardoppervlak. Indien de optische dichtheid van de atmosfeer toeneemt, bijvoorbeeld door watertoeename in damp- en wolkvorm, verhoogt dit de directe uitstraling naar het heelal, en vermindert dit de doorgang van de van de zon afkomstige stralingsenergie naar het aardoppervlak, zodat dit minder opwarmt. Bovendien is de uitstraling van warmte door CO₂ juist van belang in de hogere luchtlagen, waar minder waterdamp voorkomt. Door verhoging van de CO₂-concentratie zal dus niet alleen het broeikaseffect enigszins kunnen toenemen, maar zal gelijktijdig de uitstraling toenemen.

Het tweede aspect, de theorie van warmtetransport door straling door de atmosfeer, is onderwerp van discussie onder de fysische en wiskundige experts op dit gebied. De opponenten van de AGW-hypothese stellen dat deze lacunes vertoont. Het gaat hierbij ondermeer om een verschil in opvatting in hoeverre de optische dichtheid van de atmosfeer (en daarmee haar vermogen om 'warmte' vast te houden) wordt bepaald door afzonderlijke golflengten van specifieke infrarood absorberende moleculen (H₂O en CO₂) of door een wisselwerking van die moleculen. Aldus stelt Essenhigh¹⁶ dat de hoeveelheid vastgehouden warmte in de atmosfeer overwegend wordt bepaald door de lange (absorberende en emitterende) golflengten van H₂O en niet door de kortere, voornaamste (absorptie/emissie-) band van CO₂.

Bij het derde aspect, in hoeverre de klimaatmodellen, na parametrisering, een 'bewijs' kunnen leveren voor de AGW-hypothese, is er in voorgaande hoofdstukken reeds een aantal vraagtekens geplaatst. Procestechnologen betwijfelen of de gecompliceerde stromingswetten voor gassen (Navier Stokes) voldoende adequaat zijn verwerkt. (Een probleem dat zich eveneens voordoet bij het modelleren van bijvoorbeeld ventilatoren om tot betere ontwerpen te komen). De meteorologen betwijfelen de kwaliteit van de wijze waarop de wolken en de onttrekking van latente warmte door waterverdamming aan het oppervlak in de modellen worden meegenomen.

¹⁶ H. Essenhigh., 'Prediction of the standard atmosphere profile of temperature, pressure and density with high for the lower atmosphere by solution of the Schwartzchild integral equation', Energy & Fuels 2006, 1057-1067.

12.2. Nieuwe modellen

Reeds werd gemeld de veronderstelling van Essenhigh dat voor een goed begrip van wat zich in de atmosfeer afspeelt, men niet uitsluitend moet 'rekenen' met specifieke absorptie en emissiebanden van de aan deze processen deelnemende moleculen, maar dat vooral de absorptie en emissie bij de lange infrarood-golflengten van H_2O de temperatuur beïnvloedt. Met andere woorden, de door CO_2 geabsorbeerde golflengten, kunnen de atmosfeer wel initieel opwarmen, doch de emissie van de atmosfeer vindt hoofdzakelijk plaats via de langere golflengte van de H_2O band.

De AGW-hypothese gaat uit van het beginsel dat er onder invloed van een toenemende optische dichtheid van de atmosfeer de uitstraling naar het heelal wordt gehinderd. De uitgaande straling wordt aangeduid als OLR ('outgoing long wavelength radiation' = infrarood). Aangezien noch H_2O , noch CO_2 zelf energiebronnen zijn kan een opwarming ook niet anders worden verklaard. Aldus, indien de opwarming uitblijft, zoals op het Zuidelijk Halfrond gedurende de laatste decennia, moet er een verklaring worden gezocht voor het verschijnsel dat de OLR geen hinder ondervindt indien de onderliggende atmosfeer een verhoogde warmteabsorptie vertoont. In de 'runaway'-AGW-hypothese wordt echter zelfs afgeleid dat de OLR in het geheel niet meer zal toenemen boven een oppervlaktetemperatuur van 300 K.¹⁷

Aan de hand van onderzoek van enige honderden zogenaamde stralingsprofielen, verspreid over de aarde, meent Miskolczi¹⁸ te kunnen aantonen dat het omgekeerde het geval is. (Een stralingsprofiel geeft aan wat de atmosfeer op een bepaalde plaats op aarde bij elke golflengte in het infrarood naar het heelal of het aardoppervlak uitstraalt.) Zijn theoretische verklaring is gebaseerd op andere aannamen voor de wetenschappelijke en fysische beschrijving van de stralingprocessen in de atmosfeer dan in de AGW-hypothese en hij claimt aldus dat die theoretische verklaring meer in overeenstemming is met de waarnemingen (bovengenoemde stralingsprofielen) dan het AGW-model. De fysische verklaring komt er op neer dat op het niveau waarop het broeikas effect zich momenteel voordoet, de atmosfeer dit constant houdt via de OLR door meer of minder waterdamp in de atmosfeer vast te houden en dat het CO_2 -gehalte daarbij geen of slechts geringe invloed heeft. In deze zin loopt deze verklaring dus parallel aan die van Essenhigh. Het is de waterthermostaat, die in het bijzonder op het Zuidelijk Halfrond duidelijk merkbaar is, die het broeikas effect binnen nauwe grenzen houdt.

12.3. De staat van het klimaatonderzoek

Hoewel the theorie van Miskolczi lijkt te zijn bevestigd door tal van andere waarnemingen die in voorgaande hoofdstukken werden aangehaald, is deze zeker nog dis-

¹⁷ Zie voetnoot Pierrehumbert, hoofdstuk 4.

¹⁸ - Applied Optics Vol. 41, No. 6 . 20 February 2002 Simulation of uplooking and downlooking high-resolution radiance spectra with two different radiative transfer models.

- Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service Vol. 108, No. 4, October–December 2004, pp. 209–251 The greenhouse effect and the spectral decomposition of the clear-sky terrestrial radiation.

- Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service Vol. 111, No. 1, January–March 2007, pp. 1–40. Greenhouse effect in semi-transparent planetary atmospheres

cutabel. Maar dit is ook het geval met de AGW-hypothese, en dit geeft dan aan wat de staat van het klimaatonderzoek is. De kern van het dispuut of CO₂ nu wel of niet een belangrijke factor in het broeikaseffect kan zijn, is terug te voeren op de in het voorgaande onder component 2 genoemde twijfels over de theoretische onderbouwing van het broeikaseffect, dat zijn de modellen voor het stralingstransportproces in de atmosfeer. De opvatting dat CO₂ het broeikaseffect *moet* versterken op grond van diens fysische eigenschap infrarood te absorberen, is al te simplistisch. De op GCM's gebaseerde klimaatmodellen, met hun parametrisering, die dit als uitgangspunt gebruiken, hebben daardoor een zeer beperkte waarde als bewijsvoering voor een versterkt CO₂-effect. Maar de bewijsvoering dat CO₂ geen enkele rol speelt bij de versterking van het broeikaseffect, met name op lokaal niveau, is ook nog niet waterdicht. Als Miskolczi's theorie (en die van Essenhight en Elsasser) correct is, dat het overvloedig aanwezige water het broeikaseffect stabiliseert, waarom heeft zich dan toch sinds het einde van de Kleine IJstijd, een temperatuurstijging van 0.7 C voorgedaan? Hiervoor zijn twee verklaringen mogelijk: (a) die stijging is overtrokken vanwege de onbetrouwbaarheid van de metingen van de meteorologische grondstations. (b) de astronomische invloeden waren groter dan tot dusver is herkend. Zij zouden tot nog hogere stijging aanleiding hebben kunnen geven, indien de waterthermostaat niet aanwezig was. Beide aspecten verdienen nadere overweging.